

碳硅泥岩型铀矿床地下水中铀的存在形式及其沉淀的物理化学条件

黄广荣 庞玉蕙

(成都地质学院)

内容提要: 硅碳泥岩型铀矿床是我国铀矿床的主要类型之一。地下水在这类矿床的形成过程中,对铀的活化、迁移和沉淀富集都起着重要的作用。这类矿床地下水中铀的存在形式及沉淀条件的研究,是其成矿规律研究的重要组成部分。文中对四个矿床的地下水资料进行分析研究。确定了铀的五种存在形式及其沉淀的物理化学条件。

主题词: 碳硅泥岩型铀矿床 地下水 铀的存在形式 物理化学条件

碳硅泥岩型铀矿床在我国分布广泛,具有重要的工业意义。在这类矿床的形成过程中,地下水对铀的活化、迁移和富集都起着重要作用,含铀地下水往往就是成矿溶液。因此这类矿床地下水中铀的存在形式及沉淀条件的研究是其成矿规律研究的重要组成部分。本文选择了含矿层位、含矿岩性各不相同的4个矿床,即华南地区泥盆系应堂组含生物碎屑泥晶灰岩中的马鞍肚矿床、应堂组—东岗岭组泥质粉砂岩、白云岩中的广子田矿床、榴江组粉砂质泥岩和含生物屑粉晶细晶灰岩中的矿山脚矿床和震旦—寒武系中硅质黑色页岩中的宝峰园矿床,研究了其地下水中铀的浓度、铀的存在形式及其数量关系和各种存在形式铀的沉淀条件。

一、各矿床的主要地质特征

(一) 华南泥盆系中的碳酸盐岩型铀矿床 在华南地区,该类矿床的含矿层位有下泥盆统的郁江组,中泥盆统的应堂组和东岗岭组,上泥盆统的榴江组。从西南向东北,含矿层位有逐渐提高的趋势,这与泥盆系海侵的发展方向一致。

中晚泥盆世,华南地区地壳受到强烈拉张,产生了一系列的裂隙槽,形成了一个区域性的地堑地垒构造体系。随后在地堑中沉积了台盆相,在地垒上沉积了碳酸盐台地相,本区泥盆系中的碳酸盐岩型铀矿床均产于碳酸盐台地边缘的泻湖相地层中。

从燕山期到喜马拉雅期,华南地区地壳经受了由挤压到拉张的变化,形成了一系列规模大小不等的地堑和地垒构造,包括一系列的红色盆地。该区的绝大多数碳酸盐岩型铀矿床产在断陷汇水盆地内,断陷盆地内的泻湖相岩层中常有顺层(少数为切层)断层构造破碎带发育,它们控制着矿体的定位、分布、形态和产状。

该类矿床的矿体形态主要为透镜状,其产状与控矿构造产状一致。矿石中铀主要以分散状态存在,与有机质和粘土矿物关系密切,有时有沥青铀矿细脉发育。各矿床中的矿化都

赋存在一定标高范围内,如马鞍肚矿床矿化标高在-50—210m之间,广子田矿床主要在180—300m之间,矿山脚矿床在-40—150m之间。矿床成因有下降淋积成矿的,也有淋积与热液叠加成矿的。

(二) 碳硅泥岩中的宝峰园矿床 该矿床位于××地轴中段北缘、扬子复式拗陷带之西南段。矿床产于震旦系灯影组及寒武系王音铺组中,含矿层岩相为深水沉积的海槽相,含矿岩层主要为黑色含放射虫和硅质海绵骨针的碳硅泥岩,矿床位于区域东西向向斜翼部的下陷断块内,铀主要以细分散状态存在,与有机质、细分散状黄铁矿和粘土矿物关系密切,矿化标高在-50—80m之间,矿化具有显著的淋积成因特点。

二、各矿床地下水中铀的存在形式和沉淀条件

各矿床地下水的成分和水质类型大同小异,在含矿岩性以碳酸盐岩为主的矿床中,水质类型多为 HCO_3^- - Ca^{2+} - Mg^{2+} 型,少数为 HCO_3^- - Na^+ - Ca^{2+} 型,在含矿岩性以含黄铁矿的泥质岩为主的矿床中,水质类型则多为 SO_4^{2-} - HCO_3^- - Ca^{2+} - Na^+ 型,它们的pH值多在6.5—8.5之间。我们将各矿床地下水的成分及含量的数据(表1)按一定程序输入计算机中进行计算,便得到各矿床水样中铀的存在形式及其摩尔浓度(表2)、各种形式所占的百分数(表3)、各种存在形式的铀沉淀的pE(电子活度)值(表4)和Eh值(表5)。从表3中可以看到,尽管各种地下水的成分不同,但其中铀的存在形式均是5种: UO_2^{2+} 、 UO_2OH^+ 、 $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ 、 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ 、 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$,主要是 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ 和 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ 两种,这两种形式占99%以上。但在不同成分特别是不同水质类型的水样中,二者比例是不同的,在重碳酸型(含矿主岩以碳酸盐岩为主)水中, $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ 所占比例较大,一般在80%以上, $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ 所占比例较小,一般占百分之几到十几,少数为20—30%,而在部分硫酸重碳酸型水中, $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ 所占比例相对减小, $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ 所占比例有所提高(表3)。这两种形式也是铀在水中最稳定的形式。人们可能会提出,在宝峰园矿床的地下水中,硫酸根含量较高,会不会存在 UO_2SO_4 呢?计算表明不会。上述各种形式的铀在迁移途中,遇到适当的还原条件时,都会形成氧化铀(沥青铀矿、铀黑)的沉淀。但是它们沉淀时的pE值和Eh值是不同的(表4,表5),而且同一存在形式、同一浓度的溶液,在不同的还原条件下所形成的铀矿物的含氧系数也是不同的,以 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ 为例,从图表(图1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 表4、5)中可以看到,形成低含氧系数铀矿物的Eh值和电子活度(pE)高一些,形成高含氧系数(2.67)铀矿物的Eh值和电子活度(pE)低一些。同时氧化铀沉淀的Eh值和水溶液的pH值有关,不同形式的铀沉淀的Eh值范围约为0—350mV, pH值范围约为6—8之间。此外,铀矿物形成的Eh值或pE值也与溶液中铀酰离子的浓度有关,如图2所示,浓度高的形成铀矿物pE值高一些,浓度低的形成铀矿物的pE值低一些。上述情况表明,地下水中各种形式的铀的沉淀点在空间上构成一个带,而不是一条线,也不是一个面,这与各个矿床铀矿化形成于一定标高范围内、并有一定的垂幅是相一致的,这也就是某些矿床特别是典型的淋积铀矿床的铀矿化局限在一定标高范围内的形成机制。

在完成本文的研究过程中、孙世雄、贾德萍两位副教授给了热情的帮助,在此表示感谢。

表 1 各矿床地下水的成分及含量(mg/l)

Table 1 Contents of underground water components in various ore deposits (mg/l)

矿床名称	成分 含量 样号	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	U	pH	取样地点
广子田矿床	1	6.99	9.12	0	72.77	15.09	11.70	4.13	0.02	7.4	79号水文剖面
	2	3.14	13.24	0	77.59	19.25	10.50	4.72	0.02	7.5	79号水文剖面
	3	1.77	4.23	0	131.6	3.57	23.65	11.67	0.0026	7.57	79号水文剖面
	4	2.09	4.08	0	136.3	4.30	25.17	11.38	0.00005	7.6	79号水文剖面
	5	1.77	5.40	0	132.5	4.14	24.61	11.24	0.0013	7.61	79号水文剖面
	6	1.85	3.28	0	142.1	2.53	27.25	11.77	0.0013	7.58	79号水文剖面
	7	0.96	7.20	0	52.4	1.92	13.31	4.18	0.013	7.5	79号水文剖面
	8	1.42	1.20	0	52.5	1.45	19.74	3.99	0.00013	6.9	79号水文剖面
	9	1.49	1.20	0	14.45	4.05	4.57	0.88	0.001	9.6	79号水文剖面
	10	1.77	1.20	1.71	33.31	2.62	7.29	2.43	0.002	8.1	79号水文剖面
	11	0.92	7.97	0	111.1	4.80	20.20	10.12	0.001	7.3	79号水文剖面
	12	1.13	12.00	9.21	108.5	7.80	12.63	7.01	0.00013	8.4	79号水文剖面
	13	1.28	1.68	0	14.58	0.41	22.28	12.34	0.0021	7.6	79号水文剖面
	14	1.63	0.96	0	130.00	0.41	21.96	13.17	0.0026	8.0	79号水文剖面
矿山脚矿床	1	1.14	22.00	0	233.45	1.38	58.76	16.05	6.12×10^{-1}	7.3	ZK21-8孔
	2	6.39	14.00	0	266.4	0.28	58.67	19.85	4.42×10^{-1}	7.3	ZK21-8孔
	3	1.56	4.00	0	259.61	1.43	49.92	22.18	4.94×10^{-1}	8.1	ZK21-8孔
	4	11.08	14.00	0	300.15	2.14	73.26	21.50	2.21×10^{-1}	6.9	ZK21-8孔
	5	11.01	14.00	0	302.44	2.97	73.16	21.50	2.08×10^{-1}	6.9	ZK21-8孔
	6	8.09	14.00	0	301.16	0.60	73.26	21.50	1.80×10^{-1}	7.0	ZK21-8孔
	7	0.21	11.36	0	255.93	1.05	46.01	25.24	3.12×10^{-2}	7.5	ZK21-8孔
	8	4.26	10.00	0	259.80	4.33	46.09	25.54	2.6×10^{-2}	7.3	ZK21-8孔
	9	0.92	8.00	0	206.15	6.10	44.81	23.76	1.43×10^{-2}	7.3	ZK21-8孔
	10	1.42	0	0	266.45	0.48	46.49	25.10	1.04×10^{-2}	7.6	ZK21-8孔
	11	0.50	7.09	0	257.75	0.12	46.57	25.24	2.54×10^{-2}	7.4	ZK21-8孔
	12	0.57	9.13	0	258.96	0.53	47.53	25.00	1.56×10^{-2}	7.3	ZK21-8孔
马鞍肚矿床	1	4.62	2.40	0	12.20	4.14	2.81	0.73	5.2×10^{-5}	6.5	河水
	2	3.55	3.36	0	11.95	4.37	30.0	6.69	1.55×10^{-2}	8.1	ZK-20191孔
	3	2.49	4.32	0	128.10	4.83	34.8	3.77	5.2×10^{-5}	7.0	ZK-20192孔
	4	2.49	2.40	0	134.20	22.08	18.00	6.07	2.2×10^{-2}	7.9	ZK-1817孔
	5	4.26	9.12	0	242.54	27.83	43.80	7.90	7.8×10^{-3}	7.3	ZK-1263孔
宝峰园矿床	1	6.74	72.05	0	112.85	40.02	31.06	3.04	2.6×10^{-2}	8.2	ZK-6205孔
	2	3.55	124.88	0	210.45	65.55	46.00	15.80	2.6×10^{-2}	7.5	ZK-6205孔
	3	2.48	60.04	0	289.75	61.41	78.20	0	5.2×10^{-2}	7.3	ZK-6205孔
	4	4.96	69.64	0	118.95	36.57	41.40	1.82	1.3×10^{-2}	8.5	ZK-6205孔
	5	2.84	60.04	0	201.30	28.06	77.05	0.61	5.2×10^{-2}	7.7	ZK-6205孔
	6	2.48	45.63	0	286.70	51.06	78.20	1.22	2.6×10^{-2}	7.8	ZK-6205孔
	7	2.13	40.83	0	295.85	49.68	82.83	0	1.3×10^{-2}	7.6	ZK-6205孔
	8	1.42	67.24	0	280.60	37.72	72.14	5.72	1.9×10^{-2}	6.9	ZK-6205孔
	9	1.42	19.21	0	271.45	12.42	86.17	0.61	2.6×10^{-2}	6.7	ZK-6205孔

(据310、307、267队)

表 2 各矿床地下水中铀的存在形式及摩尔浓度

Table 2. Modes of occurrence and mole concentrations of uranium in underground water of various ore deposits

矿床名称	形式 成分 样号	UO_2^{3+}	UO_2OH^+	$\text{UO}_2(\text{OH})_2$	$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$	$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{3-}$
广平田矿床	1	2.68×10^{-14}	5.47×10^{-12}	6.89×10^{-12}	8.23×10^{-8}	3.75×10^{-9}
	2	2.04×10^{-14}	3.81×10^{-12}	6.03×10^{-12}	8.22×10^{-8}	5.11×10^{-9}
	3	6.27×10^{-16}	1.33×10^{-13}	2.44×10^{-13}	9.80×10^{-9}	1.36×10^{-9}
	4	9.83×10^{-18}	2.22×10^{-15}	4.39×10^{-15}	1.88×10^{-10}	2.95×10^{-11}
	5	2.48×10^{-16}	5.77×10^{-14}	1.16×10^{-13}	4.73×10^{-9}	7.31×10^{-10}
	6	2.48×10^{-16}	5.35×10^{-14}	1.00×10^{-13}	4.71×10^{-9}	7.42×10^{-10}
	7	2.82×10^{-14}	5.38×10^{-12}	8.56×10^{-12}	5.25×10^{-8}	2.83×10^{-9}
	8	4.54×10^{-15}	2.19×10^{-13}	8.83×10^{-14}	5.40×10^{-10}	5.06×10^{-12}
	9	8.93×10^{-19}	2.26×10^{-14}	4.62×10^{-12}	2.07×10^{-9}	2.28×10^{-9}
	10	6.20×10^{-16}	5.23×10^{-13}	3.35×10^{-12}	8.14×10^{-9}	7.19×10^{-10}
	11	1.27×10^{-15}	1.46×10^{-13}	1.45×10^{-13}	4.11×10^{-9}	2.50×10^{-10}
	12	6.41×10^{-19}	9.33×10^{-16}	1.16×10^{-14}	3.14×10^{-10}	2.31×10^{-10}
	13	1.52×10^{-14}	5.68×10^{-12}	1.79×10^{-11}	8.63×10^{-9}	2.02×10^{-10}
	14	7.21×10^{-17}	4.12×10^{-14}	2.04×10^{-13}	7.99×10^{-9}	2.93×10^{-9}
砂山脚矿床	1	1.62×10^{-13}	1.72×10^{-11}	1.66×10^{-11}	2.19×10^{-6}	3.73×10^{-7}
	2	9.81×10^{-14}	9.31×10^{-12}	8.97×10^{-12}	1.56×10^{-6}	3.08×10^{-7}
	3	1.42×10^{-15}	9.57×10^{-13}	5.83×10^{-12}	9.58×10^{-7}	1.12×10^{-6}
	4	2.42×10^{-15}	1.00×10^{-11}	3.81×10^{-12}	8.47×10^{-7}	8.13×10^{-8}
	5	2.24×10^{-13}	9.28×10^{-12}	3.53×10^{-12}	7.96×10^{-7}	7.72×10^{-8}
	6	1.21×10^{-13}	6.30×10^{-12}	3.02×10^{-12}	6.74×10^{-7}	8.15×10^{-8}
	7	2.47×10^{-15}	4.16×10^{-13}	6.38×10^{-13}	1.01×10^{-7}	2.99×10^{-8}
	8	5.42×10^{-15}	5.80×10^{-13}	5.60×10^{-13}	9.16×10^{-8}	1.75×10^{-8}
	9	4.93×10^{-15}	5.29×10^{-13}	5.13×10^{-13}	5.24×10^{-8}	7.62×10^{-9}
	10	4.48×10^{-16}	9.54×10^{-14}	1.83×10^{-13}	3.15×10^{-8}	1.21×10^{-8}
	11	3.29×10^{-15}	4.42×10^{-13}	5.37×10^{-13}	8.63×10^{-8}	2.03×10^{-8}
	12	3.30×10^{-15}	3.51×10^{-13}	3.39×10^{-13}	5.51×10^{-8}	1.84×10^{-8}
马鞍肚矿床	1	2.03×10^{-12}	4.11×10^{-12}	6.68×10^{-13}	2.13×10^{-10}	1.55×10^{-13}
	2	3.11×10^{-16}	2.25×10^{-12}	1.40×10^{-12}	4.58×10^{-8}	1.92×10^{-8}
	3	1.96×10^{-16}	1.12×10^{-14}	5.56×10^{-15}	2.10×10^{-10}	7.63×10^{-12}
	4	9.55×10^{-16}	4.32×10^{-13}	1.72×10^{-12}	7.14×10^{-8}	2.39×10^{-8}
	5	1.89×10^{-15}	2.05×10^{-13}	2.0×10^{-13}	2.81×10^{-8}	4.64×10^{-9}
宝峰园矿床	1	3.32×10^{-16}	2.99×10^{-13}	2.27×10^{-12}	6.87×10^{-8}	4.05×10^{-8}
	2	3.16×10^{-15}	5.12×10^{-13}	7.73×10^{-13}	8.51×10^{-8}	2.40×10^{-8}
	3	8.63×10^{-15}	8.88×10^{-13}	8.48×10^{-13}	1.76×10^{-7}	4.21×10^{-8}
	4	2.69×10^{-17}	1.62×10^{-14}	1.13×10^{-13}	2.40×10^{-8}	3.95×10^{-8}
	5	2.49×10^{-15}	6.60×10^{-13}	1.53×10^{-12}	1.57×10^{-7}	6.07×10^{-8}
	6	1.59×10^{-15}	2.60×10^{-13}	8.94×10^{-13}	7.99×10^{-8}	2.92×10^{-8}
	7	4.34×10^{-16}	8.97×10^{-14}	4.71×10^{-13}	3.69×10^{-8}	1.76×10^{-8}
	8	2.40×10^{-14}	9.88×10^{-13}	3.74×10^{-13}	7.30×10^{-8}	6.76×10^{-9}
	9	9.03×10^{-14}	2.35×10^{-12}	5.79×10^{-13}	1.30×10^{-7}	5.34×10^{-9}

表 3 各矿床水样中铀的存在形式及其百分数

Table 3. Modes of occurrence of uranium and their percentage in water samples from various ore deposits

矿床 名称	形 式 百 分 数 样 号	UO_2^{2+}	UO_2OH^+	$\text{UO}_2(\text{OH})_2$	$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$	$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$
广 子 田 矿 床	1	1.22×10^{-5}	6.35×10^{-3}	8.80×10^{-3}	95.6	4.35
	2	2.34×10^{-5}	4.36×10^{-3}	6.90×10^{-3}	94.1	5.85
	3	5.61×10^{-6}	1.19×10^{-3}	2.19×10^{-3}	87.70	12.2
	4	4.58×10^{-6}	1.82×10^{-3}	2.80×10^{-3}	86.4	13.5
	5	4.5×10^{-6}	1.05×10^{-3}	2.13×10^{-3}	86.5	13.3
	6	4.5×10^{-6}	9.80×10^{-4}	1.84×10^{-3}	86.3	13.5
	7	5.17×10^{-5}	9.86×10^{-3}	1.57×10^{-2}	96.2	3.72
	8	8.3×10^{-4}	4.02×10^{-2}	1.61×10^{-2}	99.0	0.922
	9	2.04×10^{-8}	5.16×10^{-4}	1.05×10^{-1}	47.5	52.3
	10	7.56×10^{-6}	5.90×10^{-3}	3.78×10^{-2}	91.8	8.11
	11	2.91×10^{-5}	3.35×10^{-3}	3.32×10^{-3}	94.2	5.73
	12	1.17×10^{-7}	1.70×10^{-4}	2.13×10^{-3}	57.6	42.3
	13	1.72×10^{-4}	6.41×10^{-2}	2.82×10^{-1}	97.4	2.27
	14	6.60×10^{-7}	3.78×10^{-4}	1.87×10^{-3}	73.1	26.8
矿 山 脚 矿 床	1	6.30×10^{-6}	6.71×10^{-4}	6.48×10^{-4}	85.4	14.5
	2	4.74×10^{-6}	5.01×10^{-4}	4.83×10^{-4}	83.3	16.6
	3	6.84×10^{-8}	4.61×10^{-5}	2.81×10^{-4}	45.7	54.2
	4	2.61×10^{-5}	1.07×10^{-3}	4.11×10^{-4}	91.2	8.75
	5	2.57×10^{-5}	1.06×10^{-3}	4.04×10^{-4}	91.1	8.83
	6	1.60×10^{-5}	8.33×10^{-4}	3.99×10^{-4}	89.2	10.7
	7	1.88×10^{-6}	3.18×10^{-4}	4.86×10^{-4}	77.1	22.8
	8	5.00×10^{-6}	5.31×10^{-4}	5.12×10^{-4}	83.9	16.0
	9	8.20×10^{-6}	8.81×10^{-4}	8.54×10^{-4}	87.3	12.6
	10	1.02×10^{-6}	2.18×10^{-4}	4.21×10^{-4}	72.2	27.7
	11	3.08×10^{-6}	4.14×10^{-4}	5.03×10^{-4}	80.9	19.0
	12	5.04×10^{-6}	5.36×10^{-4}	5.18×10^{-4}	84.0	15.9
马 鞍 肚 矿 床	1	9.31×10^{-2}	1.88	3.05×10^{-1}	97.6	7.11×10^{-2}
	2	4.73×10^{-2}	3.45×10^{-4}	2.15×10^{-3}	70.4	29.5
	3	8.38×10^{-5}	5.14×10^{-3}	2.54×10^{-3}	96.4	3.49
	4	1.03×10^{-6}	4.73×10^{-4}	1.86×10^{-3}	77.2	22.2
	5	5.76×10^{-6}	6.28×10^{-4}	6.16×10^{-4}	85.8	14.1
宝 峰 园 矿 床	1	3.00×10^{-7}	2.68×10^{-4}	2.07×10^{-3}	62.8	37.1
	2	2.83×10^{-6}	4.68×10^{-4}	7.08×10^{-4}	77.9	22.0
	3	3.95×10^{-6}	4.66×10^{-4}	3.88×10^{-4}	80.6	19.3
	4	4.91×10^{-8}	8.47×10^{-5}	1.30×10^{-3}	44.0	55.9
	5	1.14×10^{-6}	3.62×10^{-4}	7.30×10^{-4}	72.1	27.8
	6	1.46×10^{-6}	2.38×10^{-4}	3.61×10^{-4}	73.1	26.8
	7	7.95×10^{-7}	1.64×10^{-4}	3.13×10^{-4}	67.6	32.3
	8	3.01×10^{-6}	1.23×10^{-3}	4.69×10^{-4}	91.5	8.46
	9	8.27×10^{-6}	2.18×10^{-3}	5.30×10^{-4}	95.1	4.83

表 4 各矿床地下水中各种存在形式的铀沉淀的值

Table 4. pE values for precipitation of uranium of various modes of occurrence in underground water of some ore deposits

矿床 名称	形式 沉淀物 pE 值 样品	UO_2^{2+}	UO_2OH^+	$\text{UO}_2(\text{OH})_2$	$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{4-}$	$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{3-}$	$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$	$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$
		UO_2	UO_2	UO_2	UO_2	UO_2	$\text{UO}_{2.25}$	$\text{UO}_{2.67}$
广子田 矿床	1	-1.03	-0.69	-0.73	-0.49	-0.53	-0.82	-3.76
	2	-1.16	-0.82	-0.86	-0.62	-0.66	-0.96	-3.95
	3	-1.93	-1.59	-1.63	-1.39	-1.43	-1.96	-6.11
	4	-2.83	-2.49	-2.53	-2.29	-2.33	-3.16	-8.76
	5	-2.13	-1.78	-1.83	-1.59	-1.63	-2.21	-6.63
	6	-2.13	-1.79	-1.83	-1.58	-1.63	-2.23	-6.70
	7	-1.08	-0.71	-0.78	-0.55	-0.58	-0.86	-3.72
	8	-1.48	-1.11	-1.18	-0.94	-0.98	-1.59	-6.10
	9	-3.32	-2.98	-3.12	-2.78	-2.82	-3.14	-6.22
	10	-1.89	-1.55	-1.59	-1.35	-1.39	-1.73	-4.93
	11	-1.77	-1.43	-1.47	-1.23	-1.22	-1.84	-6.18
	12	-3.42	-3.08	-3.12	-2.88	-2.92	-3.67	-8.92
	13	-1.22	-0.88	-0.92	-0.69	-0.72	-0.95	-3.54
	14	-2.39	-2.06	-2.09	-1.86	-1.89	-2.44	-6.65
矿山脚 矿床	1	-0.74	-0.41	-0.44	-0.20	-0.24	-0.46	-3.69
	2	-0.87	-0.53	-0.57	-0.34	-0.37	-0.64	-3.49
	3	-1.77	-1.43	-1.47	-1.23	-1.27	-1.56	-4.57
	4	-0.66	-0.32	-0.36	-0.12	-0.16	-0.49	-3.65
	5	-0.68	-0.34	-0.38	-0.14	-0.18	-0.51	-3.70
	6	-0.81	-0.47	-0.51	-0.27	-0.31	-0.65	-3.90
	7	-1.65	-1.31	-1.35	-1.11	-1.15	-1.61	-5.41
	8	-1.48	-1.14	-1.18	-0.94	-0.98	-1.44	-5.30
	9	-1.50	-1.16	-1.19	-0.96	-1.08	-1.47	-5.36
	10	-2.02	-1.68	-1.72	-1.48	-1.52	-2.07	-6.32
	11	-1.59	-1.25	-1.28	-1.05	-1.09	-1.56	-5.43
	12	-1.58	-1.25	-1.28	-1.05	-1.08	-1.59	-5.62
马鞍肚 矿床	1	-0.64	-0.30	-0.34	-0.10	-0.14	-0.61	-4.38
	2	-2.08	-1.74	-1.78	-1.58	-1.58	-1.98	-5.50
	3	-2.18	-1.84	-1.88	-1.64	-1.68	-2.49	-3.00
	4	-1.83	-1.49	-1.53	-1.29	-1.32	-1.72	-5.17
	5	-1.70	-1.36	-1.40	-1.16	-1.20	-1.71	-5.07
宝峰园 矿床	1	-2.67	-2.33	-2.37	-2.13	-2.17	-2.94	-5.29
	2	-1.61	-1.27	-1.31	-1.07	-1.11	-1.55	-5.29
	3	-1.35	-1.01	-1.05	-0.86	-0.85	-1.32	-5.03
	4	-2.62	-2.28	-2.32	-2.09	-2.12	-2.58	-6.34
	5	-1.65	-1.31	-1.36	-1.11	-1.15	-1.54	-5.02
	6	-1.76	-1.41	-1.45	-1.21	-1.25	-1.75	-5.73
	7	-2.63	-2.29	-2.33	-2.09	-2.13	-2.09	-6.37
	8	-1.16	-0.82	-0.86	-0.63	-0.66	-1.16	-5.16
	9	-0.87	-0.53	-0.57	-0.33	-0.37	-0.83	-4.68

表 5 各矿床地下水中各种存在形式的铀沉淀的Eh值(mV)

Table 5. Eh values for precipitation of uranium of various modes of occurrence in underground water of some ore deposits

矿床 名称	形式 沉淀物 Eh 值 样号	UO_2^{2+}	UO_2OH^+	$\text{UO}_2(\text{OH})_2$	$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{4-}$	$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$	$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$	$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$
		UO_2	UO_2	UO_2	UO_2	UO_2	$\text{UO}_{2.25}$	$\text{UO}_{2.67}$
广子田矿床	1	-62	-42	-44	-30	-32	-49	-226
	2	-70	-49	-52	-37	-40	-57	-232
	3	-116	-95	-98	-83	-86	-117	-356
	4	-120	-149	-152	-137	-140	-189	-525
	5	-128	-107	-110	-95	-98	-133	-398
	6	-128	-107	-110	-95	-98	-134	-402
	7	-65	-45	-42	-33	-35	-51	-223
	8	-89	-68	-71	-56	-59	-95	-366
	9	-199	-179	-181	-167	-169	-189	-373
	10	-113	-93	-95	-81	-83	-104	-296
	11	-106	-86	-88	-74	-76	-110	-371
	12	-205	-185	-187	-173	-175	-220	-535
	13	-73	-53	-55	-41	-43	-52	-212
	14	-144	-123	-126	-111	-114	-146	-399
矿山脚矿床	1	-44	-24	-26	-12	-14	-27	-185
	2	-52	-32	-34	-20	-22	-38	-209
	3	-105	-86	-88	-74	-76	-94	-274
	4	-40	-19	-22	-7	-10	-29	-219
	5	-41	-20	-23	-8	-11	-30	-222
	6	-49	-28	-31	-16	-19	-39	-234
	7	-99	-79	-81	-67	-69	-96	-325
	8	-89	-68	-71	-56	-59	-87	-318
	9	-98	-69	-72	-57	-60	-88	-321
	10	-121	-101	-103	-89	-91	-124	-379
	11	-95	-75	-77	-63	-65	-93	-326
	12	-95	-75	-77	-63	-65	-95	-337
马鞍肚矿床	1	-38	-18	-20	-6	-8	-36	-263
	2	-125	-104	-102	-92	-95	-119	-330
	3	-131	-110	-113	-98	-101	-149	-480
	4	-118	-30	-92	-78	-80	-103	-310
	5	-102	-82	-84	-70	-72	-105	-358
宝峰园矿床	1	-124	-104	-106	-92	-94	-116	-317
	2	-96	-76	-78	-64	-66	-93	-317
	3	-83	-63	-65	-51	-53	-79	-302
	4	-167	-137	-139	-126	-127	-155	-380
	5	-99	-78	-81	-67	-69	-92	-301
	6	-105	-85	-87	-73	-75	-105	-344
	7	-122	-102	-104	-90	-92	-125	-382
	8	-70	-48	-52	-38	-40	-70	-310
	9	-62	-32	-34	-20	-22	-50	-281

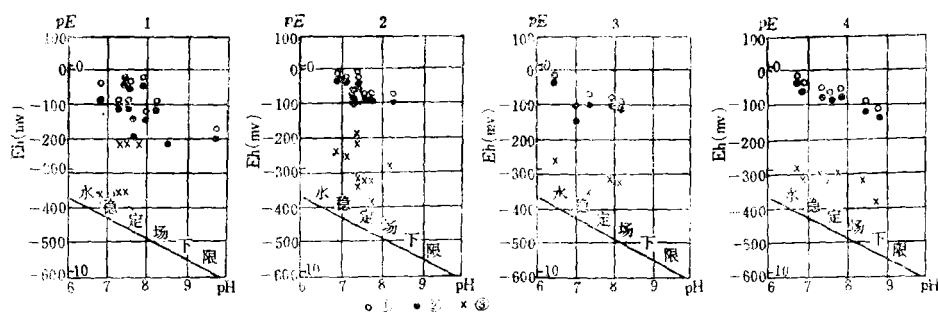


图1 不同含氧系数的氧化铀与 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ 平衡的Eh (pE)-pH图

1—广子田矿床; 2—矿山脚矿床; 3—马鞍肚矿床; 4—宝峰园矿床; ①— $\text{pEuO}_2 - \text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$; ②— $\text{pEuO}_{2.25} - \text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$; ③— $\text{pEuO}_{2.67} - \text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$

Fig. 1 Eh (pE) versus pH diagram for uranium oxides of different oxygenous coefficients in equilibrium with $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$.

1—Guangzitian ore deposits; 2—Kuangshaojiao ore deposit; 3—Maandu ore deposits; 4—Baofengyuan ore deposit.

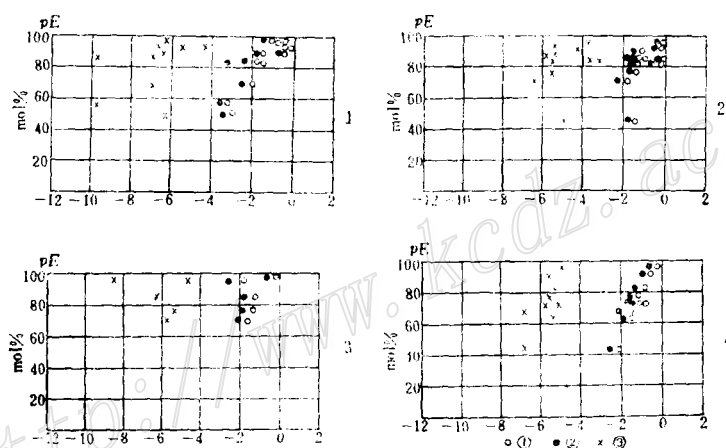


图2 不同含氧系数的氧化铀沉淀时的pE与 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ 浓度的关系图

1—广子田矿床; 2—矿山脚矿床; 3—马鞍肚矿床; 4—宝峰园矿床; ①— $\text{pEuO}_2 - \text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$; ②— $\text{pEuO}_{2.25} - \text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$; ③— $\text{pEuO}_{2.67} - \text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$

Fig. 2. Relationship between pE and $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ concentration during the precipitation of uranium oxides of different oxygenous coefficients.

1—Guangzitian ore deposit; 2—Kuangshaojiao ore deposit; 3—Maandu ore deposit; 4—Baofengyuan ore deposit.

参 考 文 献

- [1] A. K. 利西索 1983 成矿作用水文地球化学 (李育敏等译) 原子能出版社
- [2] 孙世雄等 1985 铀在地下水中迁移的基本形式及电子活度值的计算程序 成都地质学院学报 第1期
- [3] 黄广荣、庞玉蕙 1985 华南地区碳酸盐岩型层控铀矿床中的岩相控矿作用 南岭地质矿产文集 第1辑
- [4] 庞玉蕙 1989 华南地区泥盆石炭系中碳酸盐岩型层控铀矿床的成矿规律探讨 地球化学 第2期

MODES OF OCCURRENCE OF URANIUM IN UNDERGROUND WATER OF CARBONATE-SILICEOUS-PELITIC ROCK TYPE URANIUM DEPOSITS AND PHYSICAL-CHEMICAL CONDITIONS FOR ITS PRECIPITATION

Huang Guangrong and Pang Yuqi

(Chengdu College of Geology, Chengdu, Sichuan Province)

Abstract

Carbonate-siliceous-pelitic rock type uranium deposits constitute one of the major types of uranium deposits in China. Underground water plays an important role in mobilization, migration, precipitation and enrichment of uranium during the formation of this sort of deposits. The investigation of modes of occurrence and precipitation conditions of uranium in underground water is of great importance in the study of its metallogenic regularity. Based on an analysis of data on underground water from four uranium deposits in Devonian and Sinian-Cambrian of South China, it is concluded that there exist five modes of occurrence of uranium, i. e. UO_2^{2+} , UO_2OH^+ , $\text{UO}_2(\text{OH})_2$, $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ and $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$, with the last two forms being dominant and making up over 99%. Nevertheless, the ratios between these two forms are different in water samples of different components and types. The paper points out that uranium substances of different modes of occurrence have different precipitation conditions whereas uraniumiferous underground water solution of the same concentration will form uranium minerals of different oxygenous coefficients under different reduction conditions. Eh (pH) value for the formation of uranium minerals with low oxygenous coefficients is somewhat higher, whereas that for the formation of uranium minerals with high oxygenous coefficients is a bit lower. The Eh value for the precipitation of uranium minerals is related to the pH value of underground water solution; Eh values for the precipitation of uranium of different modes of occurrence are in the range of 0–350 mV, while the range of pH values is 6–8. The Eh (or pE) value for the precipitation of uranium minerals is also related to the concentration of UO_2^{2+} in the solution; in solution with high concentration, the Eh (pE) value for the formation of uranium minerals is a bit higher, and in solution with low concentration, the value is lower. All the precipitation points of uranium with various modes of occurrence in underground water form a zone rather than a line or a plane in space, which is in accord with the fact that uranium deposits lie within a certain elevation range and have a definite vertical extension. This accounts for the phenomenon that uranium mineralizations in some deposits, especially in typical leaching type uranium deposits, are restricted to a certain elevation range.